

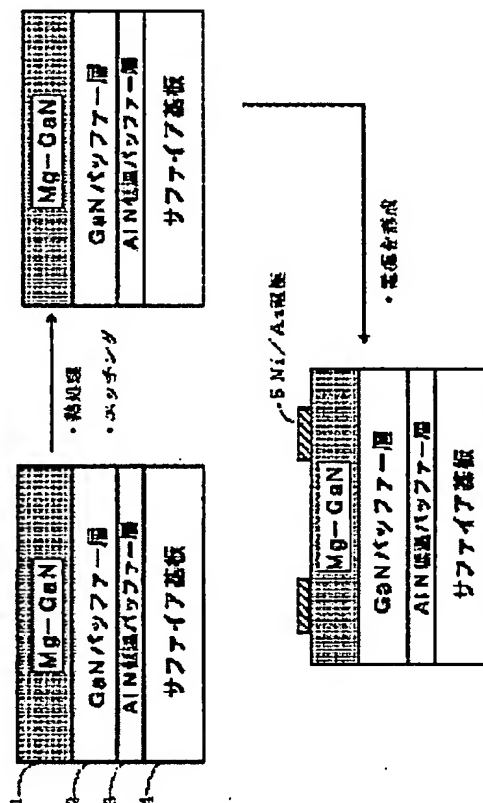
NITRIDE SEMICONDUCTOR

BEST AVAILABLE COPY

Patent number: JP2001148477
 Publication date: 2001-05-29
 Inventor: MAKIMOTO TOSHIKI; KUMAKURA KAZUhide;
 KOBAYASHI NAOKI
 Applicant: NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
 Classification:
 - International: H01L29/12; H01L21/28; H01L21/3065; H01L29/205;
 H01L21/331; H01L29/73; H01L33/00; H01S5/323
 - european:
 Application number: JP19990329238 19991119
 Priority number(s):

Abstract of JP2001148477

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent satisfactory ohmic contact between a p-type nitride semiconductor and metal even if a defect occurs on the surface of the p-type nitride semiconductor worked by using a dry etching method and metal is deposited.
SOLUTION: A sample, where and AlN low temperature buffer layer 3 is installed on a sapphire substrate 4, a GaN buffer layer 2 is installed on the AlN lower temperature buffer layer 3, and an Mg-GaN layer 1 which is 700 nm in thickness is installed on the GaN buffer layer 2, is heat-treated in a nitride atmosphere, and the upper face of the Mg-GaN layer 1 is etched by about 200 nm. Two Ni/Au electrodes 5 by electronic beam evaporation are installed on an etched face. It is learnt that current easily flows and an ohmic characteristic is remarkably improved from a current-voltage measurement result between the two electrodes. It is obtained by doping the In atoms of $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ in the Mg-GaN layer 1.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-148477

(P2001-148477A)

(43)公開日 平成13年5月29日(2001.5.29)

(51)Int.Cl.	識別記号	FI	特許出願(参考)
H01L 29/12		H01L 21/28	A 4M104
21/28			301H 5F003
	301	29/205	5F004
21/3065		33/00	C 5F041
29/205		H01S 5/323	5F073
審査請求 未請求 請求項の数4 OL (全9頁) 最終頁に続く			

(21)出願番号 特願平11-329238

(22)出願日 平成11年11月19日(1999.11.19)

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72)発明者 牧本 俊樹

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 熊倉 一英

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(74)代理人 100081259

弁護士 高山 道夫 (外1名)

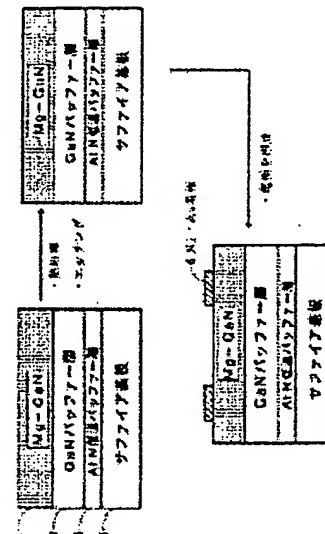
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 窒化物半導体

(57)【要約】

【課題】 ドライエッチング法を用いて加工したp型の窒化物半導体の表面に欠陥が発生し、金属を蒸着しても、p型の窒化物半導体と金属の間には良好なオーミック性接触が形成されない。

【解決手段】 サファイア基板4上にAIN低温バッファ層3を設け、このAIN低温バッファ層3上にGa_{0.5}N_{0.5}バッファ層2を設け、このGa_{0.5}N_{0.5}バッファ層2上に厚さ700nmのMg-GaN層1を設けたサンプルを真空雰囲気中で熱処理を行い、Mg-GaN層1の上面を約200nmだけエッチングする。エッチングした面に電子ビーム蒸着による2つのNi/Au電極5を設ける。この2電極間の電流-電圧測定結果から電流が流れやすく、オーミック特性が大幅に改善されていることが分かる。これは上記の厚さ700nmのMg-GaN層1に1×10¹⁹cm⁻³のIn原子をドーピングすることにより得られる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 反応性イオンエッチング法に代表されるドライエッチング法を用いて加工される窒化物半導体において、エッチングを行うことにより露出した表面近傍は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上のIn原子が含まれている層であることを特徴とする窒化物半導体。

【請求項 2】 前記In原子が含まれている層の厚さは10nm（ナノメートル）以上であることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体。

【請求項 3】 前記In原子が含まれている層にはアクセプタもドーピングされており、伝導型がp型であることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体。

【請求項 4】 前記In原子が含まれている層にはAl原子も含まれており、抵抗が高い層であることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 窒化物半導体をベースとした青色発光デバイスや高出力電子デバイス等を作製する加工プロセスには、ドライエッチング法が用いられる。本発明は、このドライエッチング法を用いて加工するのに適した窒化物半導体に関する。

【0002】

【従来の技術】 まず、窒化物半導体にIn原子をドーピングした研究について紹介する。（例えば、C. K. Shu, J. O. H. C. Lin, M. K. Chen, and M. C. Lee, Appl. Phys. Lett. 73 (1998) 641, C. T. Foxon, S. E. Hooper, T. S. Cheng, J. W. Orton, G. B. Ren, B. Ya. Ber, A. V. Merkulov, S. V. Novikov, and V. V. Tret'yakov, Semicond. Sci. Technol. 13 (1998) 1453, F. Widmann, B. Daudin, G. Feuillet, M. Pelekanos, and J. L. Rouviere, Appl. Phys. Lett. 73 (1998) 2642, X. G. Shen, P. Ravall, P. Riblet, and Y. Aoyagi, Jpn. J. Appl. Phys. 38 (1999) L411 など）。これらの文献によると、GaNなどの窒化物半導体に 10^{19} cm^{-3} 程度のIn原子をドーピングすることにより、

- ・フォトルミネッセンスの発光強度が増加したり、
 - ・ドーピングしていないGaN層の電子移動度が増加する、
- ことが報告されている。

【0003】 その原因として、In原子がGaN中で等電子トラップとして働くためにフォトルミネッセンス発光強度が強くなる、あるいは、成長中にIn原子が表面に存在することによって結晶性が改善する（In原子がサーファクタントとして働く：F. Widmann, B. Daudin, G. Feuillet, M. Pelekanos, and J. L. Rouviere, Appl. Phys. Lett. 73 (1998) 2642.）、ためと考えられている。しかしながら、これらの従来の報告では、成長した結晶自体に関するIn原子の効果に留まっている。従って、窒化物半導体をエッチングすることによって発生する欠陥に対して、結晶中のIn原子がどのような効果を及ぼすか、については全く調べられていなかった。

【0004】 この窒化物半導体は、塩酸、硫酸、フッ酸などの酸でエッチングされないという性質を持つ。従って、窒化物半導体を加工して各種のデバイスを作製する際には、通常、反応性イオンエッチング（Reactive Ion Etching: RIE）法に代表されるドライエッチング法が用いられる。しかしながら、このドライエッチング法を用いて窒化物半導体を加工すると、エッチングした表面に欠陥が発生することが知られている。

【0005】 この欠陥は、変素原子が不足した状態を生み出すので、電気を発生させる性質がある。このため、p型の窒化物半導体をエッチングした後に金属を蒸着しても、p型の窒化物半導体と金属の固には良好なオーミック性接触が形成されない。

【0006】 図1は、AlGaIn/GaNヘテロ接合バイポーラトランジスタ（Heterojunction Bipolar Transistor: HBT）を作製する際のプロセスの例を示す図である。

【0007】 まず、エミッタ層21部分をエッチングして除去し、p型GaN層であるベース層22の表面を露出させる。その後、露出したp型GaNのベース層22の表面に金属を蒸着してベースコンタクトとしてのNi/Au電極5を形成する。しかしながら、エッチングして露出させたp型GaN層の表面には多数の欠陥が発生するために、露出したベース層22とNi/Au電極5の間には良好なオーミック性接触が形成されない。

【0008】 例えば、p型GaN中の Mg アクセプタ濃度を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度に高くしても、良好なオーミック性接触が形成されない。従って、ドライエッチングによって発生した欠陥濃度は、 Mg アクセプタ濃度と同程度、つまり、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度であると考えられる。

【0009】 ここで、露出したp型GaN層と金属の間には良好なオーミック性接触を形成するために、次のような二つの工夫が施されている。

【0010】 一つ目は、結晶成長法である有機金属気相成長法（Metalorganic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE）による選択成長を用いて、エッチングによって露出したp型GaNベース層の上に新たなp型GaN層を形成する方法である。この新しく選択成長したp型GaN層と金属の間には良好なオーミック性接触を形成することが出来る（L. S. McCarthy, P. Kozodoy, S. P. Denbaars, M. Rodwell, and U. K. Mishra, 25th International Symposium on Compound Semiconductors, Nara, Japan, Oct. 1998.）。この方法では、選択成長を行わなければならないので、HBT作製プロセスが複雑になるという欠点がある。

【0011】 二つ目は、ドライエッチングを途中で停止し、欠陥の発生した層を酸化した後除去する方法である。つまり、ドライエッチングを行なう際に、p型GaNベース層の上の約10nmでエッチングを停止し、p型GaN層を完全には露出させない。そして、この欠陥の多い表面をオゾンで酸化させる。この酸化物は塩酸などで除去することが可能であるので、欠陥の無いp型GaN表

面に金属を接触させることが出来る (F. Ren, C. R. Abernathy, J. M. Van Hove, P. P. Chow, R. Hickman, J. J. Klaassen, R. F. Köpf, H. Cho, K. B. Jung, J. R. La Roche, R. G. Wilson, J. Han, R. J. Shul, A. G. Baca, and S. J. Pearton, MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 3, 41(1998))。

【0012】この方法では、p型GaNベース層の上の約10nmでエッチングを停止する必要があるために、精密なエッチング制御が必要となる。さらに、オゾンによる酸化プロセス、および、その除去プロセスも必要であるので、HBT 作製プロセスが複雑になるという欠点がある。

【0013】また、AlGaIn層をエッチングした場合にも、エッチングによる欠陥が発生する。ドーピングを行っていないAlGaIn層は高抵抗であるのに対して、AlGaIn層をエッチングすると、エッチングした表面付近はn型の伝導を示す。このような欠陥はトランジスタでは漏れ(リーク)電流となって現れるため、トランジスタの特性を劣化させる。従って、欠陥の密度を少なくする、あるいは、少なくとも、欠陥が生じても表面にn型伝導層が形成されないような工夫が望まれるのである。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】すなわち、従来は、エッチングして露出した表面付近ではエッチングにより誘発された欠陥の密度が高いために、p型窒化物半導体では良好なオーミック性接触が得られなかったり、抵抗の高いAl原子を含む窒化物半導体では漏れ電流が大きいため、という問題があった。更に、露出したp型GaIn層と金属の間に良好なオーミック性接触を形成するための工程は、作製プロセスが複雑になる、という問題があった。

【0015】本発明はこのような点に鑑みてなされたものであり、本発明の目的は、複雑でない作製プロセスで、エッチングをしても欠陥密度の少ない、あるいは、欠陥による電気的影響の少ない窒化物半導体を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明は、エッチングを行うことにより露出した窒化物半導体表面の近傍にIn原子が含まれていることを最も主要な特徴とする。従来の技術とは、窒化物半導体へIn原子をドーピングするとエッチングによって発生した欠陥の影響が少なくなるという新たな効果を見出した点、および、p型の窒化物層に対してはデバイス作製プロセスを簡略化させるため、あるいは、Al原子を含む窒化物層に対しては漏れ電流を抑制するために、エッチングして露出させた窒化物半導体の表面近傍にIn原子が含まれている点、が異なる。

【0017】エッチングして露出したp型GaIn層にIn原子がドーピングされていると、エッチングにより誘発される欠陥の密度、あるいは、欠陥による電気的影響が少なくなる。このため、エッチングして露出したp型窒化物半導体と金属の間に良好なオーミック性接触を形成するこ

とが出来ようになる。また、エッチングして露出したAlGaIn層にIn原子がドーピングされていると、エッチングにより誘発される欠陥の密度、あるいは、欠陥による電気的影響が少なくなる。このため、エッチングして露出したAlGaIn層の表面にはn型伝導層が形成されないの、漏れ電流の少ない高抵抗のAlGaIn層を形成出来るようになる。

【0018】

【発明の実施の形態】上記課題を解決するために本発明の窒化物半導体は、反応性イオンエッチング法に代表されるドライエッチング法を用いて加工される窒化物半導体において、エッチングを行うことにより露出した表面近傍は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上のIn原子が含まれている層であることに特徴を有している。また、本発明の窒化物半導体は、前記In原子が含まれている層の厚さは10nm以上であることに特徴を有している。更に、本発明の窒化物半導体は、前記In原子が含まれている層にはアクセプタもドーピングされており、伝導型がp型であることに特徴を有している。また、本発明の窒化物半導体は、前記In原子が含まれている層にはAl原子も含まれており、抵抗が高い層であることに特徴を有している。

【0019】

【実施例】以下、本発明の一実施例を図面に基いて説明する。

(実施例1) 図1は、本実施例のサンプルの構造および実験プロセスを示す図である。準備した2種類のサンプルは有機金属気相成長法によって成長させた。サファイア基板4上に厚さ20nmのAlN低温バッファ層3を設け、このAlN低温バッファ層3上に厚さ110nmのGaInNバッファ層2を設け、このGaInNバッファ層3上に厚さ70nmのMg-GaN層1を設けたものである。一つのMg-GaN層1は、本発明によるドライエッチングを用いて加工するのに適した窒化物半導体であり、他のMg-GaN層1は従来例における窒化物半導体である。

【0020】Mg-GaN層1の結晶中のMg原子を活性化してアクセプタとするために、成長後に真空雰囲気において700℃で10分間の熱処理を行った。また、全てのサンプルに対してMg原子濃度は $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ と一定にしているので、アクセプタとなるMg原子の濃度(アクセプタ濃度)は一定であり、このアクセプタ濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度であると考えられる。

【0021】本発明によるドライエッチングを用いて加工するのに適した窒化物半導体であるIn原子を含んだp型GaInN中のIn濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。この値は、オージェ分析法およびIn濃度の成長温度依存性から求めた。ここで、室温(摂氏23℃)におけるホール測定によって、エッチングを行う前のp型GaInNのキャリア濃度、および、移動度を求めた。In原子を含まないMgドープGaInN層の正孔キャリア濃度および移動度は、それぞ

れ、 $2.2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ および $9.5 \text{cm}^2/\text{Vs}$ である。これに対して、In原子を含んだHgドープGaN層の正孔キャリア濃度および移動度は、それぞれ、 $2.2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ および $3.3 \text{cm}^2/\text{Vs}$ である。正孔濃度は変化していないが、ドープしたIn原子が散乱センターとなるために移動度が減少している。従って、エッチングを行う前は、p型GaNへIn原子をドーピングすることにより、電気的特性が劣化している。

【0022】成長したサンプルを窒素雰囲気中熱処理を行った後、厚さ約700nmのHg-GaN層1（本発明によるドライエッチングを用いて加工するのに適した化合物半導体であるIn原子を含んだp型GaN、および、従来の窒化物半導体であるp型GaN）をドライエッチング法を用いて約200nmだけエッチングする。エッチングはRIE法を用いて行ない、マイクロ波出力は50W、引き出し電圧は500V、コイル電流は16Aである。

【0023】このエッチングによる欠陥の影響をI-V（電流-電圧）特性で調べるために、エッチングを行うことにより露出した表面に2つのドット状のNi/Au電極5を電子ビーム蒸着を用いて形成した。NiおよびAuの膜厚は、それぞれ、40nmおよび100nmである。Ni/Au電極5の直径は0.5mmであり、2つのNi/Au電極5間の距離は4mmである。

【0024】図2(a)、(b)は、エッチングしたHg-GaN層1（In原子を含んだp型GaN、および、p型GaN）の表面に蒸着した2つのNi/Au電極5間のI-V特性を示す。横軸は電圧を1[V]刻みで示しており、縦軸は電流を0.01[mA]刻みで示している。グラフの中央が原点Oである。

【0025】エッチングを行った後では、(b)に示すI-V特性からわかるように、In原子を含まないp型GaNでは電圧を高くしても電流は流れにくく、オーム性接触が得られない。この現象は、従来の報告と同じである。オーム特性が得られなかったために、ホール測定を行ってキャリア濃度や移動度を測定することができなかった。これに対して、(a)に示すように、p型GaNに $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ のIn原子をドーピングすることにより、電流が流れやすくなり、オーム特性が大幅に改善されている。

【0026】このことは、図2で示した2つのサンプルでは、エッチングにより誘発された欠陥濃度が異なる、あるいは、欠陥による電気的影響が異なることを示している。「In原子を含まないGaNで良好なオーム性接触が得られなかった。」ということとは、「In原子を含まないGaNでは、表面近傍における欠陥濃度はアクセプタ濃度と同程度、あるいは、それ以上である。つまり、エッチングによって発生した欠陥濃度は $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上である。」ということを示している。さらに、欠陥が無い場合の表面からの空乏層領域の厚さは、以下の式で表

される。

$$(\text{厚さ}) = (2 \cdot e \cdot V / (q \cdot N))^{1/2}$$

ここで、 q は電気素量（ 1.6×10^{-19} クーロン）、 e はGaNの誘電率（ $9 \times 8.85 \times 10^{-14}$ ファラッド/センチメートル）、 N はアクセプタ濃度（ 1×10^{19} 個/立方センチメートル）、 V は金属とGaN層の障壁の高さ（1V程度）である。この関係から、現在の場合では、10nmである。エッチングを行った場合には、この厚さ以上の領域に欠陥が存在していると考えられている。

【0027】エッチングによって発生した欠陥によって表面近傍のアクセプタが捕獲された（アクセプタの放出する正孔キャリアが欠陥にトラップされた）、あるいは、欠陥によってアクセプタが正孔キャリアを放出することができなくなったと考えられる。このため、エッチングによって露出した表面は高抵抗となり、オーム特性が得られなくなったのである。これに対して、In原子を含むGaNに対するI-V特性は、露出した表面には正孔キャリアが存在しており、「表面近傍における欠陥濃度が減少している、あるいは、欠陥が存在しても電気的影響を及ぼさない。」ことを示している。

【0028】(実施例2) 次に、Hg-GaN層1中のIn組成を増加させて同様の実験を行った。Hg-GaN層1中のIn濃度は、 $1 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ から $8 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ まで変化させた。ここでは、X線分析法を用いてIn原子の組成を測定して、1cm³中にGa原子が $4 \times 10^{22} \text{cm}^{-3}$ 個あると仮定してIn原子の濃度を算出した。これらは、3%から20%In原子を含むInGaN層に相当している。この実験でも、Hg原子濃度は $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ と一定としており、アクセプタ濃度は約 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。そして、このアクセプタ濃度は、In組成を変化させても変化しないと考えられる。

【0029】図3は、In組成の異なるp型InGaNをエッチングした表面にNi/Au電極5を蒸着した場合のI-V特性を示す。図において、(a)はIn組成が3%、(b)はIn組成が5%、(c)はIn組成が10%、(d)はIn組成が20%である。図3において、In組成が変化することによってI-V特性の傾きが急になっている。つまり、抵抗が低くなっている理由を次に示す。p型GaNの正孔キャリア濃度は、室温（摂氏23℃）において、 $2.2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ であるのに対して、 $1 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ 以上のIn原子を含むp型GaN、つまり、In組成が3%以上のp型のInGaNでは、正孔キャリア濃度が上昇することが明らかになっている。これは、In原子濃度と共にGaN中のHgアクセプタのエネルギーが減少するために、室温における正孔キャリア濃度が増加するためである。

【0030】この正孔濃度は、活性化エネルギー（ E ）と測定温度（ T ）を用いると、

$$(\text{正孔濃度}) = e \cdot \exp(-qE/kT)$$

で表される。ここで、 e は比例定数であり、アクセプタ

温度に比例すると考えて良い。また、 α は電荷量

(1. 6×10^{-19} クーロン)、 k はボルツマン定数
(1. 38×10^{-23} ジュール/ケルビン)である。例
えば、GaNの活性化エネルギーは $E = 1.70 \text{ meV}$ であ
るので、 $T = 295 \text{ K}$ (摂氏23℃、室温)では上記の
式の値は0.0013eとなる。これに対して、3%の
In原子を含むInGaNでは活性化エネルギーが $E = 1.00$
 meV へ減少するので、式から正孔濃度は0.019
eとなる。従って、室温における正孔濃度は、GaN中よ
りもInGaN中の方が15倍高くなる。ここで、アクセプ
タ濃度は同一であることから、 α の値は等しくなるの
で、p型InGaNでの抵抗が低くなるのである。

【0031】ここで、実施例1で示したp型GaNをエッ
チングした実験から、「GaNをエッチングすることによ
って生じる表面近傍における欠陥濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$
以上である。」ことが明らかになっている。もし、p
型InGaNでも $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の欠陥が発生してい
れば、表面付近には正孔キャリアが存在しなくなる(上
の式で、 $\alpha = 0$ を代入した場合に相当する)ので、オー
ミック特性が得られないはずである。

【0032】しかしながら、実際には、図3で示したよ
うにオーミック特性が得られている。従って、エッチン
グした後でもp型InGaN表面には正孔キャリアが存在し
ていることを示している。つまり、実施例2の実験結果
は、「p型InGaN表面近傍における欠陥濃度がp型GaN
の場合に比べて減少している。あるいは、欠陥が存在し
ても電気的影響を及ぼさない。」ことを示しているのだ
である。このように、p型InGaNをエッチングした後でも
オーミック特性が得られているのは、室温におけるキャ
リア濃度が高いのではなく、In原子が含まれているこ
とにより「欠陥濃度が減少している。あるいは、欠陥が
存在しても電気的影響を及ぼさない。」ためである。

【0033】以上のような効果は、少なくとも、In原子
濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の場合に観測された。ま
た、InAlGaN、InBGaNなどのような4種類以上の原子
から構成される窒化物半導体に関しても同様な効果が期
待できる。

【0034】(実施例3)有機金属気相成長法によって
成長したAlGaInNの表面をRIE法によりエッチングを行
った。実施例1で示した条件と同様に、エッチング時の
マイクロ波出力は50W、引き出し電圧は500V、コ
イル電流は16Aである。このエッチングによる欠陥の
影響を調べるために、電子ビーム照度法によって2つの
ドット状のAl/Au電極6を蒸着してAl/Au電極6間のI
-V特性を測定した。AlおよびAuの膜厚は、それぞれ
70nmおよび100nmである。Al/Au電極6の直径
は500nmであり、2つのAl/Au電極6間の距離は4
mmである。成長したAlGaInN層の厚さは1000nmで
あり、Al組成は3%から43%まで変化させた。エッ
チングして削った厚さは200nmである。

【0035】図4は、Al組成は5%であるAlGaInN層のエ
ッチング前とエッチング後のI-V特性の一例を示す。

(a)は、In原子をドーピングしていない場合のエッ
チング前は電流が流れず、AlGaInN層は高抵抗であるこ
を示している。これに対して、(b)は、In原子をドー
ピングしていない場合のエッチング後は電流が流れるよ
うになり、オーミック特性を示すようになる。エッチン
グによってAlGaInN層の表面に欠陥が発生したために、こ
の欠陥が放出したキャリアによって伝導が生じたものと考
えられる。

【0036】次に、Al原子を5%含むAlGaInN層に 1×1
 0^{19} cm^{-3} のIn原子をドーピングして同様な実験をおこ
なった。エッチング前は、AlGaInN/Au原子をドーピング
しても、AlGaInN層は高抵抗であった。エッチングした後
のI-V特性を(c)に示す。エッチング前のI-V特
性と同様に、電流が流れず、エッチング前の高抵抗の性
質を維持していることが明らかとなった。この効果は、
少なくとも、In原子濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の場合
に観測された。また、Al組成に関しても、少なくとも、
3%以上のAlGaInNで観測された。

【0037】(実施例4)図5は、高抵抗のアンダー
AlGaInN層を2つのSiドーパAlGaInN層で挟んだ構造を示し
ている。図で示したように、Si-AlGaInN層(1)11およ
びアンダーAlGaInN層12をエッチングしてSi-AlGaIn
N層(2)13を露出させ、Si-AlGaInN層(1)11とSi-Al
GaInN層(2)13の表面にAl/Au電極6を形成した。この
場合では、アンダーAlGaInN層12の側面にエッチン
グによる欠陥が存在するので、Si-AlGaInN層(1)11とSi
-AlGaInN層(2)13の表面に形成したAl/Au電極6の間
には流れ電流が存在することになる。

【0038】しかしながら、アンダーAlGaInN層12を
InドーパAlGaInN層14に置きかえることにより、Inド
ーパAlGaInN層14の側面には伝導層が存在しなくなるの
で、Si-AlGaInN層(1)11とSi-AlGaInN層(2)13の表
面に形成したAl/Au電極6の間には流れ電流がなくな
る。このように、エッチングして露出したAlGaInN層の側
面に対しても、In原子をドーピングしていることによ
り、流れ電流が無く、高抵抗化を行うことができる。

【0039】(実施例5)本発明をヘテロ接合バイポー
ラトランジスタ(HBT)へ応用した実施例について述
べる。まず、前述の図7のHBT作製プロセスに従っ
て、AlGaIn/GaNで構成されるHBTを作製した。すな
わち、

エミッタ層21、ベース層22、コレクタ層23から
なるHBT構造の結晶を成長させる。

このHBT構造の結晶を窒素雰囲気での熱処理(70
℃、10分間)を行う。

エミッタ層21をエッチングして除去し、ベース層2
2の表面を露出させる。

ベース層22をエッチングして除去し、コレクタ層2

3の表面を露出させる。

露出したベース層22の表面に金属を蒸着してベースコンタクトとしてのNi/Au電極5を形成する。
エミッタ層21の表面および露出したコレクタ層23の表面に金属を蒸着して、エミッタコンタクトおよびコレクタコンタクトとしてのAl/Au電極6を形成する。

【0040】図6は、前述の図7のHBT作製プロセスに従って作製したHBTの層構造を示す図である。図において、サファイア基板24上に低温AlNバッファ層25（厚さ20nm：高抵抗）、GaNバッファ層25（厚さ100nm：高抵抗）を設け、その上にn型コレクタ電極層23b（Si-GaN：厚さ100nm：電子濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、n型コレクタ層23a（Si-GaN：厚さ50nm：電子濃度 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）からなるコレクタ層23を設け、その上にp型ベース層(2) 22b（Mg-GaN：厚さ150nm：正孔濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）、p型ベース層(1) 22a（Mg-In-GaN：厚さ50nm：正孔濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）からなるベース層22を設け、その上にn型エミッタ層21b（Si-AlGaInN：厚さ100nm：電子濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）、n型エミッタ電極層21a（Si-GaN：厚さ100nm：電子濃度 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）からなるエミッタ層21が設けられている。さらに、n型コレクタ電極層23bの表面にはAl/Au電極6、p型ベース層(1) 22aの表面にはNi/Au電極5が設けられている。

【0041】ベース層22にはアクセプタとなるIn原子がドーピングされている。さらに、エッチングプロセスによる欠陥の発生を抑えるために、ベース層には $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のIn原子も一緒にドーピングされている。ただし、実施例1で述べたように、In原子はベース中で散乱センターとなるために、正孔キャリアの移動度が減少する。このため、少数キャリアである電子に対しても移動度も低下する可能性がある。

【0042】従って、厚さ20nmのベース層22の中で、エッチングをして表面を露出する部分、つまり、Ni/Au電極5とのコンタクトを取る表面にIn原子がドーピングされている構造としている。言い換えれば、20nmのベース層22全体にIn原子をドーピングするのではなく、ベース層22の表面側の50nmだけにIn原子をドーピングしてp型ベース層(1) 22a（Mg-In-GaN：正孔濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）を形成している。作製したHBTのベース領域でのオーミック特性は良好であった。

【0043】さらに、室温における電流利得は20が得られており、従来報告されていた電流利得（約3）よりも大きな値が得られている。また、比較サンプルとして、In原子を一緒にドーピングした構造も作製した。この構造でも良好なオーミック特性が得られたが、電流利得が10であった。In原子をドーピングした層の厚さを50nmと狭くした場合に比べて、In原子を一緒にドー

ピングした場合は、In原子によって電子が散乱を受け、このため、ベース中の少数キャリアである電子の寿命が短くなり、In原子を一緒にドーピングした場合には電流利得が小さくなったと考えられる。

【0044】

【発明の効果】以上説明したように、In原子を含むp型の窒化物半導体の表面でエッチングを終了して、このエッチングによって露出した表面に金属を接触させた場合には、良好なオーミック接触が形成できるという利点がある。また、Al原子を含む窒化物半導体へIn原子をドーピングした場合には、このAl原子を含む窒化物半導体をエッチングしても、リーク電流が無く、高抵抗を維持できるという利点がある。そして、In原子を、少なくとも、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上含む場合に上記の効果が現れる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例における窒化物半導体のサンプルの構造および実験プロセスを示す図である。

【図2】エッチング後のp型GaInNのI-V特性を示す図であり、(a)はIn原子とMg原子をドーピングしたp型GaInNであり、(b)はMg原子だけをドーピングしたp型GaInNである。

【図3】エッチング後のp型GaInNのI-V特性を示す図であり、(a)はIn組成=3%、(b)はIn組成=5%、(c)はIn組成=10%、(d)はIn組成=20%とした場合である。

【図4】エッチング前後のAlGaInN層に対するI-V特性を示す図であり、(a)はアンドープAlGaInN層に対するエッチング前、(b)はアンドープAlGaInN層に対するエッチング後、(c)はインドープAlGaInN層に対するエッチング後である。

【図5】AlGaInN層が横方向に露出した場合の構造を示す図である。

【図6】AlGaInN/GaNで構成されるHBTの層構造を示す図である。

【図7】HBT作製プロセスの例を示す図である。

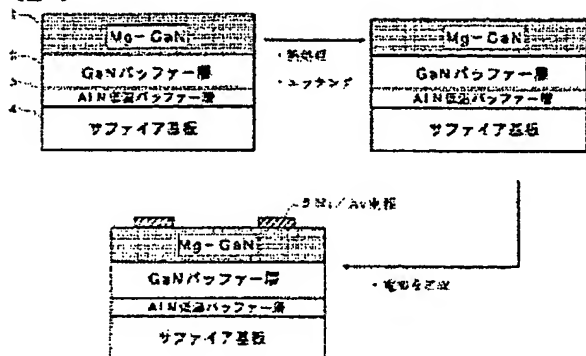
【符号の説明】

- 1 Mg-GaN層
- 2 GaNバッファ層
- 3 AlN低温バッファ層
- 4 サファイア基板
- 5 Ni/Au電極
- 6 Al/Au電極
- 11 Si-AlGaInN層(1)
- 12 アンドープAlGaInN層
- 13 Si-AlGaInN層(2)
- 14 インドープAlGaInN層
- 21 エミッタ層
- 21a n型エミッタ電極層
- 21b n型エミッタ層
- 22 ベース層

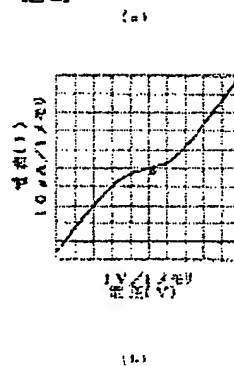
22a p型ベース層(1)
22b p型ベース層(2)
23 コレクタ層
23a n型コレクタ層

23b n型コレクタ電極層
24 サファイア基板
25 GaNバッファ層
26 低阻AlNバッファ層

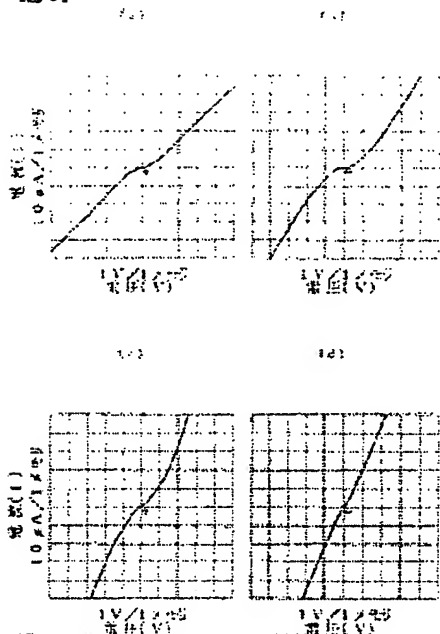
【図1】



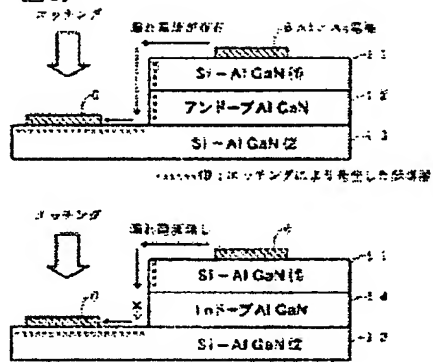
【図2】



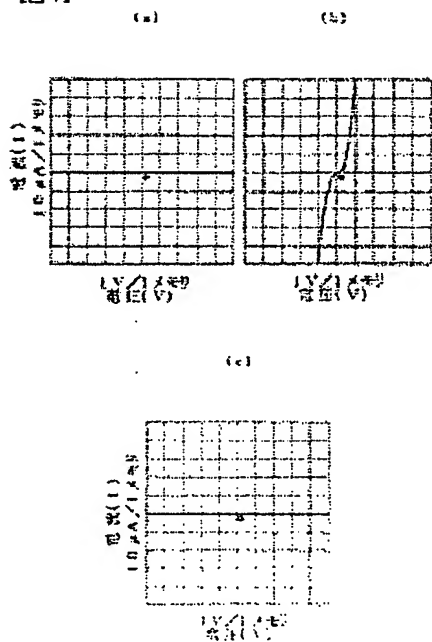
【図3】



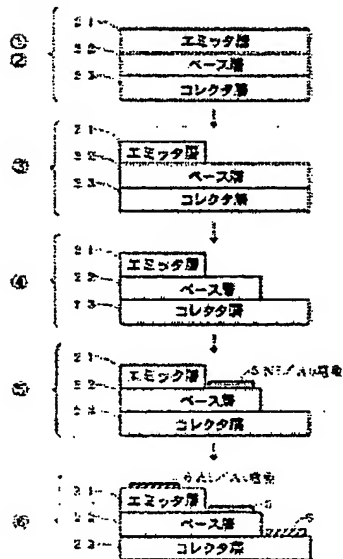
【図5】



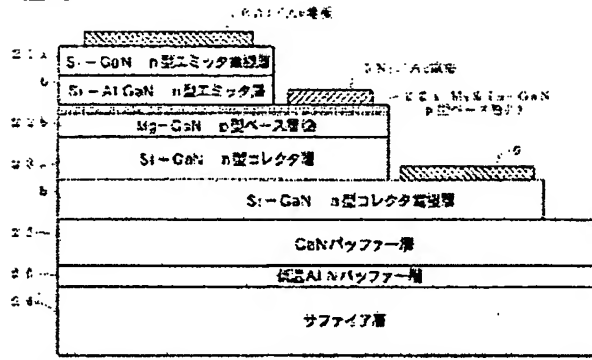
【図4】



【図7】



【図6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.7

識別記号

F1

テーマコード* (参考)

H01L 21/391

H01L 29/14

N

29/73

21/302

33/00

29/72

H01S 5/323

(72)発明者 小林 直樹

Fターム (参考) 4M104 AA04 BB02 BB05 CC01 DD22

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

DD26 DD35 FF13 GG06 HH15

5FD03 AP04 BA92 BB02 BB04 BB09

BE04 BE90 BF03 BF06 BH99

BM03 BP12 BP23 BP32

5FD04 AA16 BA14 DB19 DB28 EB02

5FD41 AA21 CA34 CA40 CA65

5FD73 CA07 CB05 DA05 DA24 HA10

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.